

**Sveučilište u Zagrebu**  
**Prehrambeno-biotehnološki fakultet**  
**Preddiplomski studij Nutricionizam**

**Gabriela Vuković**

6854/N

**MODELIRANJE I OPTIMIRANJE U LCHF PREHRANI**

**ZAVRŠNI RAD**

**Predmet:** Modeliranje i optimiranje u nutricionizmu

**Mentor::** Prof.dr.sc.Jasenka Gajdoš Kljusurić

**Zagreb, 2018.**

## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

**Završni rad**

**Sveučilište u Zagrebu  
Prehrambeno-biotehnološki fakultet  
Preddiplomski sveučilišni studij Nutricionizam**

**Zavod za procesno inženjerstvo  
Laboratorij za mjerenje, regulaciju i automatizaciju**

**Znanstveno područje: Biotehničke znanosti  
Znanstveno polje: Nutricionizam**

### **Modeliranje i optimiranje u LCHF prehrani**

*Gabriela Vuković, 0058204547*

**Sažetak:** Optimiranje predstavlja traženje najpovoljnijeg rješenja nekog problema, te je u ovom radu primijenjeno u planiranju jelovnika prateći smjernice prehrane s niskom udjelom ugljikohidrata i visokim udjelom masti (engl. *Low Carb High Fat*, LCHF) koja u zadnje vrijeme postaje sve popularnija za redukciju tjelesne mase, ali i postizanje niza ostalih zdravstvenih učinaka. Cilj ovog rada bio je uklopiti u dnevni jelovnik, koji se sastoji od 3 obroka i 1 međuobroka, prehrambene smjernice i preporuke za osobu koja želi smanjiti tjelesnu masu. Za optimiranje jelovnika korišteno je 12 varijabli koje predstavljaju 3 doručka, 3 ručka, 3 međuobroka i 3 večere. Primjenom linearnog optimiranja, koristeći program LINDO, tražena su odgovarajuća rješenja koja će zadovoljavati sve parametre prema smjernicama za prehranu (dnevni unos masti 65-75 %, ugljikohidrata 5-15 % te proteina 15-20 %) i minimum energije kao funkciju cilja. Optimiranjem su dobivena ukupno 7 jelovnika s minimalnom količinom energije i udjelima makronutrijenata koja odgovaraju LCHF prehrani.

**Ključne riječi:** : *Izrada jelovnika, LCHF dijeta, LINDO, optimiranje*

**Rad sadrži:** 25 stranica, 3 slike, 4 tablice, 25 literaturnih navoda, 2 priloga

**Jezik izvornika:** hrvatski

**Rad je u tiskanom i elektroničkom obliku pohranjen u knjižnici Prehrambeno-biotehnološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu, Kačićeva 23, 10 000 Zagreb**

**Mentor:** Prof. dr. sc. Jasenka Gajdoš Kljusurić

**Pomoć pri izradi:** Prof. dr. sc. Jasenka Gajdoš Kljusurić

**Datum obrane:** 19. rujna 2018.

## **BASIC DOCUMENTATION CARD**

**Bachelor thesis**

**University of Zagreb  
Faculty of Food Technology and Biotechnology  
University undergraduate study Nutrition**

**Department of Process engineering  
Laboratory for Measurement, Regulation and Automatisation**

**Scientific area: Biotechnical Sciences  
Scientific field: Nutrition**

### **Modeling and optimization in LCHF diet**

*Gabriela Vuković, 0058204547*

**Abstract:** Optimization represents a search for the best solution of a problem and in this paper it was applied to menu planning while following Low Carb High Fat (LCHF) diet which is more and more popular for body mass reduction, but also achieving range of other health effects. The aim of this study was to integrate into the daily menu, which consists of 3 meals and 1 snack, the dietary guidelines and recommendations for person who want to reduce body mass. 12 variables were analyzed, consisting of 3 breakfasts, 3 lunches, 3 snacks and 3 dinners. Linear optimization was used, using LINDO program, to find daily menu that will meet recommended daily intake of 65-75 % fats, 5-15 % carbohydrates, 15-20 % proteins and with minimal energy as objective function. Optimization resulted in a total of 7 menus with minimal amounts of energy and macronutrients that match requirements of LCHF diet.

**Keywords:** Creating diet, LCHF diet, LINDO, optimisation

**Thesis contains:** 25 pages, 3 figures, 4 tables, 25 references, 2 supplements

**Original in:** Croatian

**Thesis is in printed and electronic form deposited in the library of the Faculty of Food Technology and Biotechnology, University of Zagreb, Kačićeva 23, 10 000 Zagreb**

**Mentor:** Prof. dr. sc. Jasenka Gajdoš Kljusurić

**Technical support and assistance:** Prof. dr. sc. Jasenka Gajdoš Kljusurić

**Defence date:** September 19th 2018.

## Sadržaj

<b>1. Uvod.....</b>	<b>1</b>
<b>2. Teorijski dio.....</b>	<b>2</b>
2.1. LCHF prehrana.....	2
2.1.1. Ugljikohidrati u LCHF prehrani .....	3
2.1.1.1 Ketonska tijela, njihov metabolizam i djelovanje u organizmu.....	4
2.1.2. Masti .....	6
2.1.3. Namirnice u LCHF prehrani .....	7
2.2. Utjecaj LCHF prehrane na smanjenje tjelesne mase i zdravlje .....	8
2.3. Optimiranje.....	11
2.3.1. Optimiranje u planiranju prehrane.....	11
2.3.2. Linearno programiranje u optimiranju prehrane.....	12
2.3.3. Računalni program LINDO .....	14
<b>3. Eksperimentalni dio .....</b>	<b>16</b>
3.1. Procjena energetske potrošnje i rad s USDA bazom podataka .....	16
3.2. Rad u LINDO programu .....	17
<b>4. Rezultati i rasprava .....</b>	<b>18</b>
<b>5. Zaključak .....</b>	<b>22</b>
<b>6. Popis literature.....</b>	<b>23</b>
<b>7. Prilozi</b>	

Prilog 1. Program za optimiranje u LINDU sa zadanom funkcijom cilja i ograničenjima

Prilog 2. Rješenja Lindo programa za 7 jelovnika

# 1. Uvod

Svijest o važnosti uravnotežene prehrane i održavanja pravilnih prehrambenih navika u suvremenoj je populaciji sve izraženija zahvaljujući dostupnosti informacija i prisutnosti teme hrane i prehrane u javnosti. Pa ipak je prevalencija pretilosti, jednog od najvećih zdravstvenih problema razvijenog svijeta, zadnjih nekoliko desetljeća također u stalnom porastu. Tome doprinose brojni čimbenici uzrokovani suvremenim načinom života u razvijenom svijetu, među kojima su najznačajniji manjak vremena za planiranje i provedbu pravilne prehrane, pretežito sjedilački način života koji reducira tjelesnu aktivnost te opća dostupnost hrane, uključujući i one neizbalansiranu i procesuiranu. Posljedica tih vanjskih čimbenika jest i značajno povećanje brojnih bolesti te smrtnosti, povezanih s pretilošću.

Istovremeno s ovim trendovima, primjetan je i značajan porast prehrambenih koncepata koji predlažu različite obrasce i pravila u cilju reduciranja prekomjerne tjelesne mase i uvođenja pravilnih prehrambenih navika. Jedna od njih je i prehrana s manje ugljikohidrata i više masti, tzv. LCHF prehrana (engl. *Low Carb High Fat*). Taj se prehrambeni koncept u posljednje vrijeme sve više provodi u kliničkoj praksi s ciljem smanjenja tjelesne mase, ali i za postizanje drugih zdravstvenih cijeva.

Sljedeći koncept LCHF prehrane za korisnike je izrada preporuka za korištenje namirnica i planiranje obroka i to nutricionisti postižu optimiranjem, najčešće koristeći računalne programe koji mogu ponuditi kombinacije namirnica ili obroka koje su matematički usklađene s preporukama. Međutim, one mogu predstavljati potpuno neprihvatljive kombinacije za korisnika te je tada bitno procijeniti prihvatljivost svake predložene ponude od strane nutricionista.

Optimiranje je proces traženja najpovoljnijeg, tj. optimalnog rješenja nekog problema. Računalno optimiranje prehrane podrazumijeva upotrebu računala za provedbu linearnog optimiranja ili optimiranja primjenom neizrazite logike. U radu je upotrijebljena metoda linearnog optimiranja koja nudi jedno (optimalno) rješenje. Za optimiranje je korišten program LINDO.

Cilj ovog rada je isplanirati i analizirati ponudu za osobu umjerene tjelesne aktivnosti koja želi smanjiti tjelesnu masu, prateći smjernice LCHF prehrane te vidjeti na koje sve načine ovakav drugačiji način prehrane utječe na pojedinca.

## 2. Teorijski dio

### 2.1. LCHF prehrana

U današnjem svijetu, epidemija pretilosti predstavlja jedan od najvećih zdravstvenih problema koji uzrokuje skoro 3 milijuna smrti godišnje na svjetskoj razini. Iako se posljednjih godina sve više govori i piše o hrani i prehrani, prevalencija pretilosti se povećala u zadnjih nekoliko desetljeća, kao i metabolički sindrom, kardiovaskularni problemi, dijabetes, rak te mišićno-skeletale bolesti koje su povezane s pretilosti. Razlog tome su najvjerojatnije okolišni čimbenici i promjene u ponašanju kao što su promjena prehrambenih navika i razine aktivnosti, a ne genetički čimbenici (Nilsson i sur., 2016; Finucane i sur., 2011).

Prehrana s manje ugljikohidrata i više masti, tzv. LCHF prehrana (Low Carb High Fat) u posljednje vrijeme se sve više koristi u kliničkoj praksi kao način prehrane kojim se postiže niz zdravstvenih ciljeva, od smanjenja tjelesne mase do upravljanja kroničnim bolestima. U pojedinim studijama se ovaj način prehrane se pokazao učinkovitim kratkoročno i dugoročno zbog svojih povoljnih utjecaja na metaboličko zdravlje (Zinn i sur., 2018).

LCHF prehrana znači da najveći udio dnevnog energetskeg unosa dolazi iz masti, a najmanji udio iz ugljikohidrata. Udio energije iz masti najčešće iznosi više od 50 %, iz ugljikohidrata manje od 20 %, a iz proteina je udio različit (Chang i sur., 2017). Značajno smanjenje u količini ugljikohidrata je popraćeno s povećanjem u količini masti, a moguće i proteina (Brouns, 2018). LCHF pristup se zapravo ne temelji na izbacivanju bilo koje grupe hrane, već se stavlja fokus na smanjen unos hrane bogate ugljikohidratima (Zinn i sur., 2018).

U prošlosti je bilo raznih koncepata prehrane i dijeta koje su usredotočene na nisku razinu ugljikohidrata kao što je Atkins dijeta, Zona dijeta, South Beach dijeta i ketogena dijeta (Brouns, 2018).

Unatoč pozitivnim stranama, LCHF prehrana otvara veliki broj kontroverzi koje valja uzeti u obzir. Dva su razloga za to: (1) pretpostavka da je LCHF prehrana deficitarna određenim nutrijentima i time se povećava rizik od manjka hranjivih tvari i (2) briga oko unosa masti, odnosno zasićenih masti i nagađanja da bi to moglo povećati rizik od kardiovaskularnih bolesti (Zinn i sur., 2018). Važna pitanja koja se trebaju postaviti u tom smislu uključuju:

- A) Kakvi su pravi dugoročni učinci vrlo niskog unosa ugljikohidrata, odnosno visokog unosa masti
- B) Trebaju li se pozitivni učinci prepisati niskom unosu ugljikohidrata ili smanjenju tjelesne mase
- C) Postoje li manje drastične alternative, tj. umjerene promjene u unosu ugljikohidrata i unosu masti, koje je lakše provoditi i održavati, a dovode do sličnih povoljnih rezultata

Ova su pitanja također relevantna s obzirom na to da većina kroničnih bolesti poput kardiovaskularnih bolesti, dijabetesa i drugih kroničnih stanja ima razdoblje razvoja 10-20 godina ili više (Brouns, 2018).

#### 2.1.1. Ugljikohidrati u LCHF prehrani

LCHF je definirana kao prehrana sa smanjenim unosom ugljikohidrata, ali točna definicija o tome koliko je to ugljikohidrata u gramima, nije strogo određena. LCHF prehrana može, ali i ne mora biti ketogena dijeta. Kod smanjenog unosa ugljikohidrata i povećanog unosa masti, tijelo troši gorivo iz oba izvora: masti i ugljikohidrata.

Dva su metabolička efekta niskog unosa ugljikohidrata, odnosno kada je dostupnost glukoze ograničena: 1) glukoneogeneza i 2) ketoza.

Vrlo nizak unos ugljikohidrata (manji od 50 g na dan) će rezultirati smanjenom zalihom glukoze u jetri, mišićima i mozgu, što će sveukupno utjecati na količinu glukoze pohranjenu u obliku glikogena. Kada je dostupnost glukoze ograničena, tijelo će pokrenuti proces glukoneogeneze. Glukoneogeneza (endogena proizvodnja glukoze) i glikoliza (razgradnja glukoze) su procesi koji se uvijek odvijaju istodobno i recipročno (Brouns, 2018).

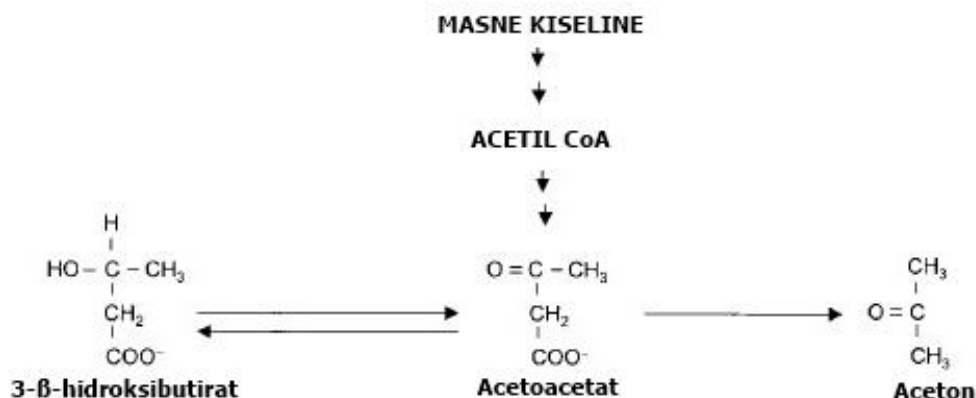
Kada je endogena proizvodnja glukoze procesom glukoneogeneze nedovoljna za potrebe stanica koje zahtijevaju glukozu, doći će do proizvodnje ketonskih tijela kao alternative glukози (Hall, 2017).

#### 2.1.1.1. Ketonska tijela, njihov metabolizam i djelovanje u organizmu

Ketonska tijela nastaju u jetri i korištena su periferno kao izvor energije onda kada glukoza nije dostupna. Dva glavna ketonska tijela su acetoacetat i 3-β-hidroksibutirat, dok je aceton treće, najmanje zastupljeno ketonsko tijelo. Ketoni su uvijek prisutni u tijelu i njihova razina se povećava tijekom posta ili produljene tjelovježbe.

Izraz *ketonska tijela* se odnosi na tri molekule, acetoacetat, 3-β-hidroksibutirat i aceton. Acetoacetat se akumulira tijekom metabolizma masnih kiselina kada je niska razina ugljikohidrata. 3-β-hidroksibutirat nastaje redukcijom acetoacetata u mitohondriju. Ova dva glavna ketonska tijela su energijom bogate molekule koje prenose energiju iz jetre do drugih tkiva. Aceton nastaje spontanom dekarboksilacijom acetoacetata i odgovoran je za sladak zadah kod individualaca s ketoacidozom.

Tijekom razdoblja manjka glukoze, ketonska tijela igraju važnu ulogu u smanjenju iskorištavanja glukoze i smanjenju proteolize. Za razliku od većine drugih tkiva, mozak ne može iskoristiti masne kiseline kao izvor energije kada razina glukoze u krvi postane nedostatna. U ovom slučaju, ketonska tijela omogućuju mozgu alternativan izvor energije, što doseže gotovo 2/3 potreba energije mozga tijekom razdoblja produljenog gladovanja i posta (Laffel, 1999).





**Ketogeneza** je proces kojim su masne kiseline prevedene u acetoacetat i 3- $\beta$ -hidroksibutirat. Ovaj proces se odvija u mitohondrijima hepatocita. U zdravih odraslih osoba, jetra je u mogućnosti proizvesti do 185 g ketonskih tijela dnevno. Proizvodnja masnih kiselina i njihova pretvorba do ketonskih tijela je određena s nekoliko faktora. Nastajanje masnih kiselina je stimulirano epinefrinom i glukagonom i inhibirano inzulinom. Acetil CoA je poveznica između ciklusa limunske kiseline koji slijedi nakon glikolize i beta oksidacije masnih kiselina. Kako bi se započeo ciklus limunske kiseline, prvo treba doći do kondenzacije acetil CoA i oksaloacetata koji nastaje iz piruvata tijekom glikolize. Stoga, važno je održavati određeni stupanj glikolize kako bi se osigurala dovoljna količina oksaloacetata koji je dostupan za kondenzaciju s acetil CoA. Ako razina glukoze postane preniska (tijekom posta ili niske razine inzulina kod dijabetesa), onda se oksaloacetat periferno koristi u procesu glukoneogeneze, umjesto kondenzacije s acetil CoA. Tada se acetil CoA prevodi u ketonska tijela.

The diagram illustrates the metabolic pathways of macromolecules. It shows the flow from the blood (KRV) into the cell and then into the mitochondria (Mitochondrij). In the blood, ketone bodies (KETONSKA TIJELA), fatty acids (MASNE KISELINE), and glucose (GLUKOZA) are present. Inside the cell, fatty acids can be stored as triglycerides (TRIGLICERIDI) or enter the mitochondria for beta-oxidation (β-oksidacija), which produces ATP and Acetyl CoA. Glucose can be stored as glycogen (GLIKOGEN) or enter the mitochondria via glycolysis (Glikoliza), also producing ATP. Acetyl CoA enters the Citric Acid Cycle (CIKLUS LIMUNSKO KISELINE), which releases ketone bodies back into the blood.

5

**Ketoliza** je proces kojim se ketonska tijela pretvaraju u energiju koja se može iskoristiti za različite unutarstanične metaboličke aktivnosti. Ketoliza se odvija u mitohondriju mnogih izvanhepatičnih organa. Središnji živčani sustav je ovisan o dostupnosti ketonskih tijela nastalih u jetri za proces ketolize jer se ketogenoza odvija vrlo polako, ako iako, u središnjem živčanom sustavu.

Ketoliza uključuje dva koraka: rekonstrukciju acetoacetyl CoA iz acetoacetata kataliziranu enzimom sukcinil CoA-oksoacid transferaza i naknadno odcjepljenje acetilne grupe iz acetoacetyl CoA kako bi se formirao acetyl CoA enzimom metilacetoacetyl CoA tiolaza.

**Ketoza** je gotovo uvijek prolazno stanje koje karakterizira povišena razina ketonskih tijela u serumu. Ketoacidoza i hiperketonemija se smatraju vrstom ketoze. Najčešći uzroci ketoze jesu fiziološki, u kojima je blago do umjereno povišena razina cirkulirajućih ketonskih tijela odgovor na post (pogotovo tijekom ranog djetinjstva ili trudnoće), produljene tjelovježbe ili ketogene (s visokim udjelom masti) dijeta. Ketoza također može biti posljedica patoloških procesa kao što se dijabetes melitus, smanjena razina kortizola i hormona rasta; toksičnog unosa etanola ili salicilata; i određenih rijetkih urođenih mana metabolizma (Laffel, 1999).

#### 2.1.2. Masti

Kako i samo ime kaže, u LCHF prehrani je prisutan veliki udio masti koji najčešće iznosi 65 - 75 %. Konzumiranje masti ima vrlo mali izravan učinak na razinu glukoze u krvi i kao rezultat ne dolazi do povećanja razine inzulina. Princip LCHF dijeta je zamijeniti ugljikohidrate s mastima, što rezultira manjim razinama inzulina i povećanju sposobnosti organizma da iskoristi vlastite zalihe masti za energiju (De i Mukhopadhyay, 2018).

Postojeće prehrambene smjernice ne definiraju točnu granicu unosa masti. Američko dijabetičko društvo (engl. *American Diabetes Association*) preporučuje da ukupan unos masti bude 20-35 % što se smatra poželjnim za smanjenje rizika od pretilosti i sugerira smanjenje unosa ugljikohidrata, ali točan odmjer makronutrijenata nije definiran (Institute of Medicine (US) Panel on Macronutrients, 2005).

### 2.1.3. Namirnice u LCHF prehrani

Na hrvatskom jeziku dostupna je literatura koja daje smjernice za LCHF prehranu te su namirnice podijeljene na osnovne, dodatne i povremeno dozvoljene (tablica 1) i tako omogućava lakše provođenje prehrane (Šupe, 2017).

**Tablica 1.** Podjela namirnica prema LCHF smjernicama

<p><b>Osnovne namirnice</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Meso i perad (ne uklanjati masnoće s mesa i kožu s piletine)</li><li>• Riba i druga morska hrana</li><li>• Jaja</li><li>• Iznutrice</li><li>• Povrće koje raste iznad zemlje: sve vrste kupusa, brokula, cvjetača, kelj, prokulica, špinat, blitva, raštika, mišancija, zelene mahune, artičoka, šparoge, tikvice, patlidžani, masline, endivija, sve vrste salata, krastavci, rajčica, paprika, komorač, celer, tikva, bundeva</li><li>• Lukovičasto povrće</li><li>• Gljive</li><li>• Avokado, limun</li><li>• Đumbir, kurkuma, začinsko bilje</li><li>• Masti životinjskog podrijetla: maslac i svinjska mast, pileća, pačja, guščja i goveđa mast</li><li>• Hladno prešana ulja: maslinovo i kokosovo</li><li>• Suho meso, slanina, pršut, čvarci, kobasice (domaće proizvodnje)</li><li>• Lako-fermentirane namirnice</li><li>• Juhe od kostiju, mesne, kokoške, riblje, povrtna juhe, hladetina</li><li>• Domaća majoneza i umaci od maslinovog ulja, maslaca, jaja, začinskog bilja</li><li>• Voda kao najbolje piće</li></ul>
<p><b>Dodatne namirnice</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Prirodni punomasni mliječni proizvodi, kiselo i slatko vrhnje, zreli sirevi, skuta, kajmak</li><li>• Korjenasto povrće osim krumpira</li><li>• Šumsko, bobičasto voće</li><li>• Orašasti plodovi</li></ul>

- Kokosovo brašno, ribani kokos, kokosovo mlijeko, kokosovo vrhnje
- Nezaslađeni kakao prah, psyllium prašak ili ljušpice
- Kava, čajevi, limunada

#### **Dozvoljeno povremeno**

- 1-2 dl vina ili 0,2 – 0,3 žestokog pića
- Par kockica tamne čokolade s minimalno 70% kakaa

## 2.2. Utjecaj LCHF prehrane na smanjenje tjelesne mase i zdravlje

LCHF dijeta postaju sve popularnije u kliničkoj praksi kao dijetetička metoda kojima se postižu različiti zdravstveni učinci, od smanjenja tjelesne mase (TM) do upravljanja kroničnim bolestima, posebice dijabetesom (Zinn i sur., 2018).

Utjecaj na razinu triglicerida u krvi i razinu HDL kolesteriola, koji predstavljaju 2 od 5 rizičnih faktora metaboličkog sindroma, vrlo je čest predmet istraživanja.

Metabolički sindrom skup je visokorizičnih čimbenika koji vode ka razvoju srčanožilnih bolesti i dijabetesa tipa 2. Najnoviji kriteriji za kliničku dijagnozu metaboličkog sindroma uključuju (potrebni su bilo koja 3 od navedenih 5 parametara): povećan opseg struka, povišena koncentracija triglicerida, snižena koncentracija HDL-a, povišeni krvni tlak i povišena koncentracija glukoze natašte (Ortner Hadžiabdić, 2015). Povišene koncentracije triglicerida također su identificirane kao neovisni faktor rizika kardiovaskularnih bolesti, a omjer triglicerida i HDL kolesterola smatra se snažnim prediktorom budućih srčanih događaja i predstavlja surogat mjeru otpornosti na inzulin (Brinkworth i sur., 2009).

Jedna od najpopularnijih aplikacija LCHF dijete je smanjenje TM. Nekoliko sistematskih pregleda i meta analiza su pokazali da je dugotrajna LCHF prehrana kombinirana s reduciranim unosom energije više ili barem jednako učinkovita kao i dosadašnje preporučivane dijetete s visokim udjelom ugljikohidrata i niskim udjelom masti (engl. *High Carb, Low Fat, HCLF*) kod populacije s prekomjernom TM ili pretilo populacije (Chang i sur., 2017).

Stručna literatura navodi da individualci s predijabetesom (potvrđeno s razinom glukoze natašte i razinom inzulina) i dijabetesom koji su na LCHF prehrani brzo primjećuju niz učinaka kao što su gubitak TM, poboljšana osjetljivost na inzulin, manje fluktuacije glukoze u krvi i nižu razinu glukoze natašte. Takve promjene također indirektno utječu na smanjenje rizika od

kardiovaskularnih bolesti. Međutim, brojni znanstvenici smatraju da su ovi efekti posljedica gubitka TM, a ne nužno i redukcije u količini ugljikohidrata (Brouns, 2018).

U tematskom pregledu metaboličkih efekata LCHF dijetе, Westman i suradnici su zaključili kako su LCHF dijetе vodile ka smanjenju apetita pa posljedično i do gubitka TM i odgovarajućih poboljšanja različitih čimbenika rizika bolesti (Westman i sur., 2007).

U studiji iz 2007. bile su uspoređivana LCHF i HCLF dijeta, njihov utjecaj na smanjenje TM, ali se također uspoređivao utjecaj i na raspoloženje i kognitivne funkcije. LCHF dijeta je rezultirala u značajno većem gubitku TM što potvrđuje rezultate prijašnjih studija i kliničkih ispitivanja. Oba prehrambena obrasca su također bila povezana i s poboljšanjem u raspoloženju. Zanimljivo je kako je LCHF u manjoj mjeri pokazala poboljšanje u kognitivnim funkcijama kao što je brzina procesuiranja, ali su daljnja istraživanja potrebna kako bi se potvrdio ovaj efekt (Halyburton i sur., 2007).

U velikoj studiji iz 2014. godine koja je trajala godinu dana i uključivala 148 sudionika, bili su istraživani učinci niskougljikohidratne dijetе (manje od 40 g ugljikohidrata na dan) i dijetе s niskim udjelom masti, na gubitak TM i rizične faktore kardiovaskularnih bolesti. Nakon 12 mjeseci pokazalo se kako je niskougljikohidratna dijeta imala veći učinak na smanjenje TM i rizika od kardiovaskularnih bolesti od dijetе s niskim udjelom masti. Dijeta s niskim udjelom ugljikohidrata rezultirala je većim poboljšanjima u sastavu tijela (odnosno imala je značajno veći gubitak TM), razini HDL kolesterola, omjeru ukupnog i HDL kolesterola, razini triglicerida, CRP razini i procijenjenom 10-godišnjem riziku od kardiovaskularnih bolesti. Zaključak ove studije jest da ograničavanje ugljikohidrata može biti opcija za osobe koje žele izgubiti TM i smanjiti kardiovaskularne čimbenike rizika (Bazzano i sur., 2014).

U randomiziranom kontrolnom pokusu gdje se također uspoređivao utjecaj niskougljikohidratne dijetе s obzirom na dijetu s niskim udjelom masti, plan prehrane s niskim udjelom ugljikohidrata je imao bolje zadržavanje sudionika i veći gubitak TM. Tijekom aktivnog gubitka TM, došlo je do većeg smanjenja serumskih triglicerida i povećanja HDL kolesterola kod niskougljikohidratne dijetе (Yancy i sur., 2004).

2008. provedena je dvogodišnja studija gdje se uspoređivao gubitak TM prateći jednu od tri dijeta s restrikcijom kalorija: dijeta s niskim unosom masti, dijeta s niskim udjelom ugljikohidrata i Mediteranska dijeta. Rezultati su pokazali kako je upravo najveći gubitak bio kod niskougljikohidratne dijetе, zatim Mediteranske i posljednje kod one s niskim udjelom masti. Također je primijećeno najveće smanjenje razine triglicerida u krvi kod niskougljikohidratne dijetе. Utjecaj na LDL kolesterol se nije značajno razlikovao između grupa.

Omjer ukupnog i HDL kolesterola se smanjio tijekom faze gubitka TM i održavanja. Niskougljikohidratna grupa je pokazala najznačajnije poboljšanje, s relativnim smanjenjem od 20%, u usporedbi od smanjenja od 12% kod grupe s niskim udjelom masti (Shai i sur., 2008).

Glavna zabrinutost koja se često pojavljuje kod niskougljikohidratnih dijeta je njihov potencijal da podignu razinu LDL kolesterola, što je utvrđen rizik za kardiovaskularne bolesti (Bazzano i sur., 2014). U studij iz 2009. (Brinkworth i sur., 2009) sudjelovalo je 188 muškaraca i žena s abdominalnom pretilosti i barem jednim rizičnim faktorom metaboličkog sindroma gdje im je bila dodijeljena energetska restriktivna niskougljikohidratna dijeta (4% ugljikohidrati, 35% proteini, 61% masti) ili dijeta s niskim udjelom masti (46% ugljikohidrati, 24% proteini, 30% masti). Bila je promatrana TM, kompozicija tijela i rizični kardiovaskularni faktori. Rezultati su pokazali da su dijetete imali sličan učinak na smanjenje TM, krvnog tlaka, glukoze, rezistencije na inzulin i CRP nakon 12 mjeseci. Međutim, su pokazale različite efekte na lipide u krvi gdje je veće povećanje ukupnog, LDL i HDL kolesterola i smanjenje ukupnih triglicerida kod niskougljikohidratne dijetete. Nekoliko prijašnjih studija je također imalo slične rezultate. Unatoč nepoželjnom efektu na LDL kolesterol, ukupan utjecaj u odgovoru apolipoproteina B nije bila drugačija među dijetama. Ovo sugerira da je povećanje u LDL kolesterolu s niskougljikohidratnom dijetom moguće zbog povećanja čestica LDL kolesterola kao i njihovog broja. Prijašnje studije su pokazale da niskougljikohidratna dijeta povećava velike LDL molekule i smanjuje manje LDL molekule (Sharman i sur., 2004; Sharman i sur., 2002; Westman i sur., 2006) te se smatra da smanjuje aterogenost LDL kolesterola (Krauss, 1994). Buduće studije su potrebne kako bi se bolje okarakterizirao dugotrajan učinak niskougljikohidratnih dijeta na subfrakcije čestica lipoproteina (Brinkworth i sur., 2009).

## 2.3. Optimiranje

Optimiranje predstavlja traženje najpovoljnijeg rješenja nekog problema, uzimajući u obzir i odgovarajuća ograničenja koja limitiraju promatrane varijable (Gajdoš Kljusurić, 2002). Problemi optimiranja i optimalnih procesa mogu se naći u mnogim područjima prirodnih, društvenih i tehnički znanosti, kao i u nutricionizmu.

U traženju optimuma može se koristiti niz metoda poput linearnog programiranja, neizrazite logike, genetskih algoritama, neuronskih mreža i slično. Ovisno o izabranoj metodi, može se očekivati dobivanje jednog (optimalnog) rješenja ili skupa (optimalnih rješenja).

Optimalno rješenje (lat. optimum – najbolje) predstavlja ono rješenje koje zadovoljava sve postavljene uvjete ograničenja modela, odnosno to je najbolje rješenje koje se nalazi u skupu mogućih rješenja.

Skup optimalnih rješenja je rezultat nelinearnog optimiranja te se njime nastoji zadovoljiti veći broj funkcija cilja istovremeno te se podrazumijeva da postoji raspon „optimalnosti“ rezultata.

Za linearno se optimiranje najčešće koristi program LINDO zbog svoje jednostavnost, dok se za optimiranje uz primjenu neizrazite logike koriste razni programi poput W.R.Matematica-e i sl. Svaki postupak optimiranja ima niz prednosti, ali i nedostataka, te će se na osnovu navedenog pojasniti složenost postupka planiranja jelovnika koji ni uz najbolji alat ne može zamijeniti nutricionistu koji mora potvrditi prihvatljivost onoga što računalo ponudi kao optimalno rješenje (Gajdoš i sur., 2001).

### 2.3.1. Optimiranje u planiranju prehrane

Prilikom optimiranja prehrane, treba se voditi računa o nekoliko ograničenja modela, a to su:

- a) Za koga je namijenjen jelovnik (planira li se prehrana za pojedinca ili skupinu)
- b) Navike i potrebe pojedinca i skupine
- c) Postoje li posebnosti u prehrani pojedinca ili skupine (sportaš, laktoza - intolerancija vegetarijanac...)
- d) Nutrijenti koji se žele promatrati
- e) Broj obroka koji će biti ponuđeni (hoće li prehrana uključivati samo 3 glavna obroka i/ili međuobroke)

Za planiranje prehrane potrebno je znati:

- 1) Preporuke za dnevni unos energije, makronutrijenata i mikronutrijenata (vitamina i mineralnih tvari)
- 2) Recepte izabranih jela uključenih u prehranu

Navedene informacije omogućuju da se pomoću baze podataka o nutritivnom sastavu namirnica izračuna energetska i nutritivna vrijednost ponuđenih obroka i/ili jelovnika (Gajdoš Kljusurić, 2002).

### 2.3.2. Linearno programiranje u opmitiranju prehrane

Linearno programiranje (LP) je matematički model koji obuhvaća definiranje funkcije cilja pomoću niza jednadžbi i nejednadžbi (Gajdoš Kljusurić, 2002). Ograničenja tih jednadžbi i nejednadžbi ostavljamo sukladno problemu koji se nastoji riješiti. Zadana ograničenja definiraju područje u kojem se mora nalaziti rješenje da bi se zadovoljio postavljeni problem. Zadatak je pronaći optimalno rješenje koji daje najveću (max) ili najmanju (min) vrijednost funkcije cilja, ali se ono mora nalaziti u skupu dopustivih rješenja koji je određen ograničenjima. Područje dopustivog rješenja veće je ili jednako ( $\geq$ ) od minimalne vrijednosti ograničenja, a manje ili jednako ( $\leq$ ) od maksimalne vrijednosti ograničenja.

Kod linearnog programiranja pojam optimalno uvijek je ekstrem koji se razlikuje s obzirom na cilj – optimalno rješenje može biti minimum ili maksimum funkcije cilja. U slučaju da rješenje s postavljenim parametrima nije moguće, potrebno je izmijeniti parametre u programu (Darmon i sur., 2002).

Matematički modeli linearnog programiranja sastoji se od tri osnovna djela (Gajdoš Kljusurić, 2002):

- 1) Funkcija cilja – linarna funkcija više varijabli

$$(\min, \max) \quad f = c_1 \cdot x_1 + c_2 \cdot x_2 + \dots + c_n \cdot x_n \quad [1]$$

$c_1, c_2, c_n$  = kofeicijenti (npr. cijena obroka)

$x_1, x_2, x_n$  = varijable (npr. obroci)



2) Skup ograničavajućih uvjeta – skup jednadžbi i nejednadžbi sa više varijabli

$$a_{11} \cdot x_1 + a_{12} \cdot x_2 + \dots a_{1N} \cdot x_N \leq \text{ili} = \text{ili} \geq b_1 \quad [2]$$

$$a_{21} \cdot x_1 + a_{22} \cdot x_2 + \dots a_{2N} \cdot x_N \leq \text{ili} = \text{ili} \geq b_2 \quad [3]$$

. . . . .

$$a_{m1} \cdot x_1 + a_{m2} \cdot x_2 + \dots a_{mN} \cdot x_N \leq \text{ili} = \text{ili} \geq b_n \quad [4]$$

$a_{11}, a_{12}, a_{1N}$  = sadržaj energije ili nutrijenata u pojedinim obrocima

$b_1, b_2, b_N$  = ograničenja za energiju i nutrijente (za neke postoje i minimalne i maksimalne granice)

3) Opći uvjet negativnosti – omogućuje zadržavanje u skupu pozitivnih rješenja

$$x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, x_N \geq 0 \quad [5]$$

Funkcija cilja je linearna funkcija više varijabli, a sistem ograničavajućih uvjeta je sustav simultanih linearnih jednadžbi i nejednadžbi s više varijabli. Opći uvjeti nenegativnosti omogućuju zadržavanje u skupu pozitivnih rješenja sukladno zahtjevu nenegativnosti koja povlači i činjenicu kako će vrijednosti varijabli biti veće ili jednake nuli. Moguće je uvođenje i ograničenja rješenja na cjelobrojnost rješenja. Ta se mogućnost upotrebljava u situacijama kad se npr. planira jelovnik za jedan dan, a postoji izbor više doručaka, ručaka i večera. Kako bi se izbjeglo dobivanje rješenja poput pola ručka 1 i pola ručka 2, koristi se cjelobrojno optimiranje s izborom „0 ili 1“.

Tada je potrebno uvesti nova ograničenja:

$$d_1 + \dots + d_N = 1 \quad [6]$$

$$r_1 + \dots + r_N = 1 \quad [7]$$

$$v_1 + \dots + v_N = 1 \quad [8]$$

(U programu LINDO pomoću naredbe INTEGER postavlja se uvjet cjelovitosti ponude u konačnom rješenju).

Zaključno, kod optimiranja prehrane, korištenjem niza jednakosti i nejednakosti, nastojimo dobiti obrok koji će zadovoljiti kvalitativne i kvantitativne funkcije modela ograničenja, a kao funkcija cilja najčešće se postavlja minimalna cijena pojedinačnog obroka (tj. dnevnog jelovnika).

Svi modeli linearnog optimiranja imaju dvije zajedničke karakteristike:

- 1) Sadržaj energije i nutrijenata treba zadovoljiti potrebe i preporuke (ovisno o dobi i spolu)
- 2) Cijena obroka treba biti minimalna

Modeli mogu biti promatrani eksplicitno i implicitno ovisno o izboru varijabli.

Eksplicitno promatranje podrazumijeva, na primjer, da su namirnice koje sačinjavu jedan obrok navedene i da se ne mogu mijenjati. Kad se optimira na ovaj način, namirnica više nisu varijabile.

Implicitno promatranje modela pretpostavlja mogućnost biranja između "prihvatljivih" i "neprihvatljivih" namirnica. Neprihvatljivost namirnice ili obroka ocjenjuje osoba koja planira jelovnik. Npr., ako se optimira tjedni jelovnik, i računalo odabere pastrvu s blitvom za 3 serviranja (budući da to jelo zadovoljava potrebe za vitaminima i mineralnim tvarima), takvu ponudu ćemo promijeniti, jer bi inače konzument svaki drugi dan na jelovniku imala isto jelo čime zasigurno ne bi bila zadovoljan. U ovakvom modelu namirnice su još uvijek varijabile. (Gajdoš i sur., 2001).

### 2.3.3. Računalni program LINDO

Računalni program LINDO služi za rješavanje linearnih i kvadratnih matematičkih modela. (Gajdoš Kljusurić, 2002). To je jedan od najčešće korištenih programa za rješavanje linearnih modela koji sadrže više polaznih varijabli (ako polazni oblik sadrži samo 2 varijable može se primijeniti i grafička metoda). Za rješavanje linearnih modela, LINDO primjenjuje Simplex metodu (tj. algoritam).

Simplex algoritam predstavlja postupak pretraživanja ekstremnih točaka područja mogućih rješenja linearnog programiranja. Pri tome se redom pretražuje susjedne ekstremne točke, a sljedeća ekstremna točka izabire se ona koja daje jednako ili bolje rješenje nego prethodna. Simplex algoritam usko je povezan s Gaussovom metodom eliminacije za rješavanje sustava linearnih algebarskih jednažbi.

Osnovne postavke LINDO programa temelje se na načelima linearnog programiranja, s osnovnom razlikom koja se očituje u naredbi *subject to*. Tom se naredbom povezuje funkcija cilja i ograničenja. Program podrazumijeva uvjet nenegativnosti, a završava naredbom *end*.

Kako nam LINDO program nudi rješenja koja su u konačnici matematički ispravna, konačnu odluku i prihvatljivosti određene ponude donosi stručna osoba, tj. nutricionist. To je posebice važno kod planiranja prehrane za duži vremenski period kako bi se izbjeglo često ponavljanje istih obroka unutar nekoliko dana ili istih namirnica u jelovniku za jedan dan i slično.

### 3. Eksperimentalni dio

#### 3.1. Procjena energetske potrošnje i rad s USDA bazom podataka

Za optimiranje jelovnika koji su prihvatljivi prema smjernicama LCHF prehrane korištena su 3 dnevna jelovnika koja su se sastojala od doručka, ručka, večere i međuobroka.

Ponuda je namijenjena ženi, u dobi od 30 godina, čiji BMI iznosi 28 kg/m<sup>2</sup>, prekomjerne TM, kako je najčešće aplikacija ove prehrane redukcija TM.

Harris-Benedict-ova jednadžba je korištena za izračun bazalnog metabolizma, tj. energetske potrošnje pri mirovanju (engl. *resting energy expenditure*, REE) te za ženu glasi:

$$REE = 665,096 + 9,563 \times TM(\text{kg}) + 1,850 \times TV(\text{cm}) - 4,676 \times \text{dob}(\text{godine}) \quad [9]$$

Kako je navedena žena visoka 170 cm i ima masu od 81 kg, njezina REE iznosi 1613 kcal (ili 6748 kJ). Žena radi u trgovini te provodi više od 6 sati dnevno stojeći, a 2 puta tjedno ide na grupno vježbanje, pa PAL faktor iznosi 1,75. Ovim dvjema vrijednostima pribrojena je i vrijednost za termički efekt hrane (10% od zbroja REE i PAL), te je izračunato da cjelodnevna energetska potrošnja iznosi 3105 kcal. Kako nam je cilj prehrane redukcija TM, od cjelodnevne energetske potrošnje ćemo oduzeti 500 kcal, kako bi nastao kalorijski deficit tako da onda iznosi 2605 kcal.

Jelovnici su samostalno izrađeni prema smjernicama LCHF prehrane. Korištena je USDA baza podataka zbog najveće količine dostupnih namirnica. Dobiveni podaci o energetske i nutritivnoj vrijednosti svakog obroka triju dnevnih jelovnika preneseni su iz baze i obrađeni u Excelu.

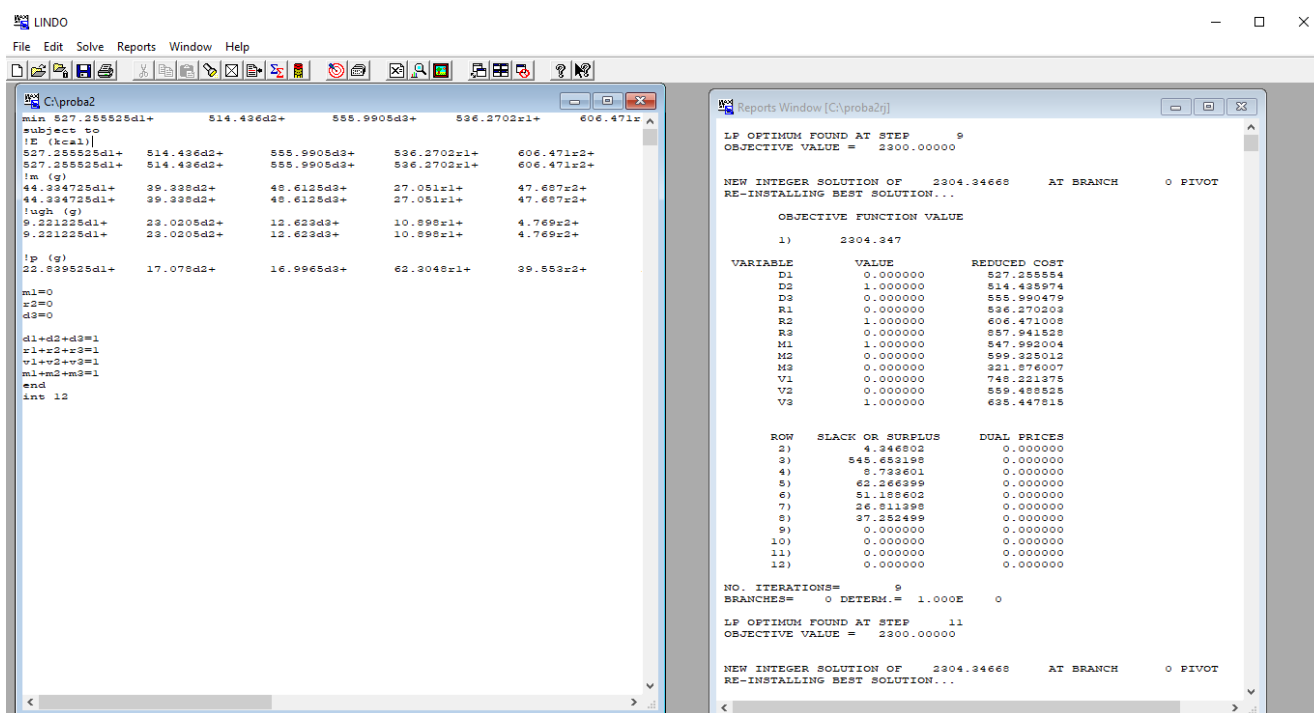
### 3.2. Rad u LINDO programu

Za optimiranje jelovnika LCHF prehrane korišten je program LINDO. Podaci su pripremljeni u Excel-u, a zatim prilagođeni za navedeni program.

Iz navedene trodnevne ponude, koja se sastoji od 3 doručka, 3 ručka, 3 večere i 3 međuobroka moguće je dobiti 81 kombinaciju ( $3 \times D \times 3 \times R \times 3 \times V \times 3 \times M$ ). Kako nam je važna kvaliteta obroka odnosno energetska i nutritivna vrijednost, potrebno je u LINDO programu zadati određena ograničenja te se broj mogućih kombinacija značajno smanjuje.

Sva su ograničenja postavljena za žensku osobu u dobi od 30 godina, čija izračunata cjelodnevna energetska potrošnja, s uračunatim deficitom od 500 kcal za redukciju TM, iznosi 2605 kcal.

Kao funkcija cilja je odabrana minimizacija energije, a ograničenja su postavljena za količinu masti, ugljikohidrata i proteina i ukupne energije.



**Slika 3.** Izgled radne stranice u LINDO programu (vlasitita fotografija)

## 4. Rezultati i rasprava

Cilj optimiranja bilo je pronaći ponudu za jedan dan koristeći pripremljene jelovnike s 4 obroka koja bi zadovoljavala energetske potrebe za redukciju TM za odabranu osobu, a pritom da odnos makronutrijenata ostane u granicama LCHF prehrane. Kao funkcija cilja je postavljena minimizacija energije, a za ograničenja su postavljeni omjeri makronutrijenata prema LCHF-u (energija: 2300 kcal – 2850 kcal, masti: 65-75%, ugljikohidrati: 5-15%, proteini: 15-20%). U tablici 1 je prikazan popis varijabli korištenih u optimiranju s pripadajućim ponudama. Svi jelovnici uključuju doručak, ručak, međuobrok i večeru. Program je za nas odabrao i kombinirao po 1 doručak, 1 ručak, 1 međuobrok i 1 večeru.

**Tablica 2.** Jela koja su sadržana u korištenim jelovnicima

Varijable	Sadržaj ponude
<b>D1</b>	Pecivo od bademovog brašna, jaje i avokado
<b>D2</b>	Svježa salata od kelja s jajem, slaninom, avokadom i rajčicama
<b>D3</b>	Fritaja s lukom i paprikom
<b>R1</b>	Odrezak od lososa u umaku od senfa
<b>R2</b>	Salata od tune s rajčicama, špinatom, krastavcima i sirom
<b>R3</b>	Paprike punjene mljevenom govedinom, zapečene sa sirom
<b>V1</b>	Grilani i sa sirom zapečeni patlidžani
<b>V2</b>	Tikvice u umaku od vrhnja i krem sira s piletinom
<b>V3</b>	Salata s pečenom cvjetačom i kozicama
<b>M1</b>	Kava s dodanim maslacem i kokosovim uljem, jagode, jogurt i pistacije
<b>M2</b>	Bulletproof kava, maslac od kikirikija, celer, borovnice
<b>M3</b>	Rolice od sira i šunke, punjene krem sirom, krastavac

D= doručak; R= ručak; M= međuobrok; V= večera

Kao rezultat optimiranja uspjeli smo dobiti čak 7 jelovnika, odnosno dovoljno da bi se složila ponuda za cijeli tjedan. Kombinacije obroka, zajedno za energetske vrijednosti cijelog dana, masom proteina, ugljikohidrata i masti su prikazani u tablici 2.

**Tablica 3.** Kombinacije jelovnika dobivenih optimiranjem u programu LINDO

DAN	KOMBINACIJA	E (kcal)	m (g)	ugh (g)	p (g)
1.	d2+r2+m1+v3	2304,34	174,73	80,18	102,74
2.	d1+r2+m1+v3	2317,16	179,73	66,38	108,50
3.	d3+r2+m2+v2	2321,27	184,78	62,58	101,97
4.	d2+r3+m3+v3	2329,70	177,79	75,08	107,29
5.	d1+r1+m2+v1	2411,07	175,30	90,07	118,25
6.	d1+r3+m3+v1	2455,29	197,72	68,04	100,88
7.	d2+r3+m1+v2	2479,85	202,01	72,40	93,02

Primjer jelovnika kojeg je program ponudio kao optimalno rješenje (d2+r2+m1+v3) uključuje doručak 2, ručak 2, međuobrok 1 i večeru 3. Ukupna energetska vrijednost iznosi 2304 kcal, 175 g masti, 80 g ugljikohidrata i 103 g proteina.

Doručak (d2) uključuje 1 pecivo od bademovog brašna (1 komad oko 80 g) koje je napravljeno od krem sira i mozzarelle, bademovog brašna i jaja te uz to jaje prženo na maslinovom ulju i 50 g avokada. Budući se prema LCHF prehrani ne konzumiraju žitarice i proizvodi od žitnog brašna, za alternativu se često priprema kruh od orašastih plodova i sjemenki (orasi, bademi, lješnjaci, makadamija orasi, kokosov orah, lanene sjemenke, bučine sjemenke, sjemenke maka, chia sjemenke...). Jaje je odličan izvor proteina, a uz maslinovo ulje, avokado je izvor masti kako bi se zadovoljio omjer LCHF-a. Izabrani ručak (r2) se sastoji od salate od 100 g tune s 50 g rajčica, 30 g špinata, 50 g krastavaca, 50 g sira i maslinovim uljem. Kao međuobrok (m1) odabran je onaj koji uključuje 100 g jagoda, 150 g punomasnog jogurta, 15 g očišćenih pistacija i kavu s dodanim maslacem i kokosovim uljem (15 g kokosovog ulja, 25 g maslaca). Takva kava s velikim udjelom masti se često konzumira u LCHF prehrani, a pripisuju joj se različiti mogući pozitivni učinci, od supresije apetita, poboljšanih kognitivnih funkcija i dulje održanje razine energije tijekom dana. Ona sama može biti i zamjena za doručak ili jedan od obroka. Večera (v3) uključuje salatu s 250 g pečene cvjetače i 130 g kozica pripremljenu s češnjakom i maslinovim uljem, sokom od limuna i soli i paprom te kao dodatak 30 g makadamija oraha i 100 g avokada.

Što se tiče parametara energije i omjera makronutrijenta u LCHF-u, možemo vidjeti da s unaprijed dobro pripremljenim obrocima postoji veliki broj kombinacija koje se mogu konzumirati tijekom tjedna.

LCHF prehrana se pokazala kao vrlo koristan alat za redukciju TM i smanjenje apetita, ali i dalje postoji veliki broj rasprava o njezinom utjecaju na organizam i zdravlje. Postavlja se pitanje o dugotrajnom učinku na organizam. Obzirom da je ovaj način prehrane vrlo popularan tek od nedavno, još nisu ispitani učinci nakon 10, 20 ili više godina praćenja LCHF prehrane. Još ne postoji znanstveno relevantan odgovor na pitanje koji je učinak dugotrajnog visokog unosa masti i niskog unosa ugljikohidrata na zdravlje te će se to tek pokazati.

Kako je unos ugljikohidrata ograničen, tako je i unos voća i povrća smanjen. Voće i povrće uključuje veliki raspon namirnica različitog energetskeg i nutritivnog sadržaja. Oni su važan izvor prehrambenih vlakna, a adekvatan unos vlakana je povezan s nižom incidencijom kardiovaskularnih bolesti i pretilosti. Također, opskrbljuju nas vitaminima i mineralima te su izvor fitokemikalija koji mogu djelovati kao antioksidansi, fitoestrogeni ili protuupalni agensi. Upravo zato je važno konzumirati voće i povrće, a The Dietary Guidelines for Americans kao i myplate.gov preporučuju da bi ono trebalo sačinjavati pola tanjura (Slavin i Lloyd, 2012).

Iako u LCHF ne postoje zabranjene namirnice, već se fokus stavlja na smanjen unos ugljikohidrata, određene namirnice s velikim sadržajem ugljikohidrata će se vrlo rijetko ili se nikad neće naći na jelovniku na što treba obratiti pažnju jer time unosimo manje određenih vitamina i minerala te prehrambenih vlakana koja ta namirnica sadrži (banane, jabuke, leguminoze, korjenasto povrće, ...). Naprimjer, osobe na niskougljikohidratnoj dijeti traže proizvode s vlaknima koji pomažu pri probavnim poteškoćama s kojima se često susreću (Hursh i Martin, 2005).

**Tablica 4.** Masa prehrambenih vlakna u dobivenim kombinacijama i usporedba s preporukom

<b>kombinacija</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
<b>prehrambena vlakna (g)</b>	26,85	25,32	13,13	29,46	26,85	19,05	28,55
<b>% preporuke 14 g/ 1000kcal</b>	83,22	78,05	40,42	87,27	78,12	54,87	87,54

Promatrajući vrijednosti prehrambenih vlakana u dobivenim kombinacijama koristeći optimiranje te uspoređujući ih s preporukom 14 g / 1000 kcal koje je izdao Institut medicine (The Institute of Medicine (IOM)) (Slavin i Lloyd, 2012), može se vidjeti da predloženi LCHF jelovnici zadovoljavaju preporuke u različitim rasponima. Pažnju treba obratiti i na to kako izračun pomoću tablica o kemijskom sastavu namirnica prikazuje samo prosječne vrijednosti udjela prehrambenih vlakna, a stvarno stanje sadržaja vlakana potrebno je utvrditi kemijskom



analizom. Kako bi se izbjegle negativne posljedice, potrebno je pratiti osobu koja se odlučila za ovakav način prehrane te po potrebi prilagoditi, odnosno ili isplanirati prehranu s većim fokusom na prehrambena vlakna ili uzmati dodatke prehrani.

Rezultat optimiranja i ovog rada su kombinacije koje zadovoljavaju energetske potrebe osobe te prate smjernice LCHF prehrane korištenjem ograničenja koja su postavljena. Program LINDO je ponudio 7 rješenja te se kombinacije obroka jednostavno mogu prikazati u tablici i na taj način olakšati praćenje i provođenje. Glavna zadaća nutricionista je da se obrati pažnja i na ostale komponente prehrane i kako bi one sveukupno mogle utjecati na osobu. Osobe koje provode ovaj način prehrane trebaju stalno paziti na količinu ugljikohidrata što može utjecati na samu kvalitetu života i emocionalno zdravlje. Veliki broj namirnica koje sadrže ugljikohidrate se treba izbjegavati, te ih se konzumirati u vrlo malim količinama ili uopće ne konzumirati. Ovaj način prehrane zahtjeva dosta odricanja i prilagodbi, te ukoliko je osoba sklona poremećajima u prehrani, trebalo bi obratiti posebnu pažnju kako se želja za provođenjem „savršene“ dijeta ne bi pretvorila u opsesivno izbjegavanje hrane. Unatoč što ovaj način prehrane zahtjeva veliku promjenu u načinu prehrane s obzirom na uobičajen, LCHF prehrana se u nekoliko istraživanja pokazala učinkovitom prilikom smanjenja TM, osjećaja gladi, poboljšane razine triglicerida u krvi i drugih parametara, te je jedan od trenutno najpopularnijih načina prehrane za redukciju TM i potrebna su daljnja istraživanja kako bi se vidio njezin dugotrajan učinak (Bronus, 2018).

## 5. Zaključak

- U zadnje vrijeme sve je popularnija LCHF prehrana te se u ovom radu koristi kao prehrana koja se razlikuje od standardnih preporuka omjera makronutrijenata (udio energije iz masti najčešće iznosi više od 50 %, iz ugljikohidrata manje od 20 %) što ujedno predstavlja i ograničenja korištena u linearnom optimiranju
- Linearno programiranje primijenjeno je u cilju optimiranja ponude za osobu koja želi smanjiti TM. Optimirani su jelovnici koji su pripremljeni prema smjernicama LCHF prehrane
- Prednosti linearnog optimiranja su olakšano slaganje i osmišljavanje jelovnika kombinacijom željenih i preferiranih namirnica prema traženim preporukama
- Nedostaci linearnog optimiranja su da iako računalo napravi plan optimalnog rješenja, svaki rezultat je potrebno provjeriti i odobriti od strane stručne osobe, nutricioniste
- Optimiranje, kao postupak koji traži optimalno rješenje, se pokazao vrlo primjenjivim u planiranju dnevnih jelovnika u kojima su glavna ograničenja unosa energije i određenih udjela makronutrijenata, na način da nam kao rezultat ponudi različite kombinacije jelovnika koji se mogu koristiti i time olakšati provođenje i održavanje prehrane

## 6. Popis literature

Bazzano L. A., Hu T., Reynolds K., Yao L., Bunol C., Liu Y., Chen C. S., Klag M. J., Whelton P. K., He J. (2014) Effects of low-carbohydrate and low-fat diets: a randomized trial. *Annals of internal medicine* **161(5)**: 309-318.

Brinkworth G. D., Noakes M., Buckley J. D., Keogh J. B., Clifton P. M. (2009) Long-term effects of a very-low-carbohydrate weight loss diet compared with an isocaloric low-fat diet after 12 mo-. *The American journal of clinical nutrition* **90(1)**: 23-32.

Brouns F. (2018) Overweight and diabetes prevention: is a low-carbohydrate–high-fat diet recommendable?. *European Journal of Nutrition* **57(4)**: 1301-1312.

Chang C. K., Borer K., Lin P. J. (2017) Low-carbohydrate-high-fat diet: Can it help exercise performance?. *Journal of human kinetics* **56(1)**: 81-92.

De P., Mukhopadhyay S. (2018) Low-Carbohydrate High-Fat (LCHF) Diet: Evidence of Its Benefits. *Diabetes Food Plan IntechOpen*.

Finucane M. M., Stevens G. A., Cowan M. J., Danaei G., Lin J. K., Paciorek C. J., Singh G. M., Gutierrez H. R., Lu Y., Bahalim A. N., Farzadfar, F. (2011) National, regional, and global trends in body-mass index since 1980: systematic analysis of health examination surveys and epidemiological studies with 960 country-years and 9·1 million participants. *The Lancet* **377(9765)**: 557-567.

Gajdoš J., Vidaček S., Kurtanjek I. Ž. (2001) Meal planning in boarding school in Croatia using optimisation of food components. *Food Service Technology* **4**: 53-67.

Gajdoš Kljusurić J. (2002) Primjena neizrastog modeliranja i optimiranja u planiranju društvene prehrane. Sveučilište u Zagrebu, Prehrambeno-biotehnološki fakultet, Zagreb.

Hall K. D. (2017) A review of the carbohydrate–insulin model of obesity. *European journal of clinical nutrition* **71(3)**: 323.

Halyburton A. K., Brinkworth G. D., Wilson C. J., Noakes M., Buckley J. D., Keogh J. B., Clifton P. M. (2007) Low-and high-carbohydrate weight-loss diets have similar effects on mood but not cognitive performance-. *The American journal of clinical nutrition* **86(3)**: 580-587.

Hursh H., Martin J. (2005) Low-carb and beyond: the health benefits of inulin. *Cereal foods world* **50(2)**: 57-60

Institute of Medicine (US) Panel on Macronutrients (2005) Dietary reference intakes for energy, carbohydrate, fiber, fat, fatty acids, cholesterol, protein, and amino acids, Washington, DC: National Academies Press. str. 422 – 423.

Krauss R. M. (1994) Heterogeneity of plasma low-density lipoproteins and atherosclerosis risk. *Current opinion in lipidology* **5(5)**: 339-349.

Laffel L. (1999) Ketone bodies: a review of physiology, pathophysiology and application of monitoring to diabetes. *Diabetes/metabolism research and reviews* **15(6)**: 412-426.

Nilsson J., Ericsson M., Joibari M. M., Anderson F., Carlsson L., Nilsson S. K., Sjödin A., Burén, J. (2016) A low-carbohydrate high-fat diet decreases lean mass and impairs cardiac function in pair-fed female C57BL/6J mice. *Nutrition & metabolism* **13(1)**: 79.

Ortner Hadžiabdić M. (2015) Metabolički sindrom. *Medicus* **24(1)**: 191-203.

Shai I., Schwarzfuchs D., Henkin Y., Shahar D. R., Witkow S., Greenberg I., Golan R., Fraser D., Bolotin A., Vardi H., Tangi-Rozental O., Zuk-Ramot R., Sarusi B., Brickner D., Schwartz Z., Sheiner E., Marko R., Katorza E., Thiery J., Fiedler G. M., Blüher M., Stumvoll M., Stampfer M. J. (2008) Weight loss with a low-carbohydrate, Mediterranean, or low-fat diet. *New England Journal of Medicine* **359(3)**: 229-241.

Sharman M. J., Gomez A. L., Kraemer W. J., Volek J. S. (2004) Very low carbohydrate and low-fat diets affect fasting lipids and postprandial lipemia differently in overweight men. *The Journal of nutrition* **134(880)**: 5.

Sharman M. J., Kraemer W. J., Love D. M., Avery N. G., Gómez A. L., Scheett T. P., Volek J. S. (2002) A ketogenic diet favorably affects serum biomarkers for cardiovascular disease in normal-weight men. *The Journal of nutrition* **132(7)**: 1879-1885.

Slavin J. L., Lloyd B. (2012) Health benefits of fruits and vegetables. *Advances in nutrition* **3(4)**: 506-516.

Šupe A. (2017) Istine i laži o hrani: Izvornom prehranom do boljeg zdravlja i primjerene tjelesne težine, 7. izd., TRAGOM j.d.o.o., Šibenik. str. 30, 148-149., 153-155., 158-160.

Westman E. C., Feinman R. D., Mavropoulos J. C., Vernon M. C., Volek J. S., Wortman J. A., Yancy W. S., Phinney S. D. (2007) Low-carbohydrate nutrition and metabolism—. *The American journal of clinical nutrition* **86(2)**: 276-284.

Westman E. C., Yancy Jr W. S., Olsen M. K., Dudley T., Guyton J. R. (2006) Effect of a low-carbohydrate, ketogenic diet program compared to a low-fat diet on fasting lipoprotein subclasses. *International journal of cardiology* **110(2)** : 212-216.

Yancy W. S., Olsen M. K., Guyton J. R., Bakst R. P., Westman E. C. (2004) A low-carbohydrate, ketogenic diet versus a low-fat diet to treat obesity and hyperlipidemia: a randomized, controlled trial. *Annals of internal medicine* **140(10)**: 769-777.

Zinn C., Rush A., Johnson R. (2018) Assessing the nutrient intake of a low-carbohydrate, high-fat (LCHF) diet: a hypothetical case study design. *BMJ open* **8(2)**: e018846.

## 7. Prilozi

**Prilog 1.** Program za optimiranje u LINDU sa zadanom funkcijom cilja i ograničenjima

min

$$527.255525d1+514.436d2+555.9905d3+536.2702r1+606.471r2+857.941533333333r3+547.992m1+599.325m2+321.876m3+748.2214v1+559.48855v2+635.4478v3$$

subject to

!E (kcal)

$$527.255525d1+514.436d2+555.9905d3+536.2702r1+606.471r2+857.941533333333r3+547.992m1+599.325m2+321.876m3+748.2214v1+559.48855v2+635.4478v3 > 2300$$

$$527.255525d1+514.436d2+555.9905d3+536.2702r1+606.471r2+857.941533333333r3+547.992m1+599.325m2+321.876m3+748.2214v1+559.48855v2+635.4478v3 < 2850$$

!m (g)

$$44.334725d1+39.338d2+48.6125d3+27.051r1+47.687r2+75.472733333333r3+47.286m1+48.565m2+22.564m3+55.3574v1+39.91655v2+40.4226v3 > 166$$

$$44.334725d1+39.338d2+48.6125d3+27.051r1+47.687r2+75.472733333333r3+47.286m1+48.565m2+22.564m3+55.3574v1+39.91655v2+40.4226v3 < 237$$

!ugh (g)

$$9.221225d1+23.0205d2+12.623d3+10.898r1+4.769r2+14.9894r3+20.8665m1+31.665m2+5.547m3+38.2881v1+13.5321v2+31.5326v3 > 29$$

$$9.221225d1+23.0205d2+12.623d3+10.898r1+4.769r2+14.9894r3+20.8665m1+31.665m2+5.547m3+38.2881v1+13.5321v2+31.5326v3 < 107$$

!p (g)

$$22.839525d1+17.078d2+16.9965d3+62.3048r1+39.553r2+29.682333333333r3+9.738m1+8.895m2+24.153m3+24.2131v1+36.5278v2+36.3785v3 < 140$$

$$d_1+d_2+d_3=1$$

$$r_1+r_2+r_3=1$$

$$v_1+v_2+v_3=1$$

$$m_1+m_2+m_3=1$$

end

int 12

## Prilog 2. Rješenja Lindo programa za 7 jelovnika

OBJECTIVE FUNCTION VALUE		
1)	2304.347	
VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
D1	0.000000	527.255554
D2	1.000000	514.435974
D3	0.000000	555.990479
R1	0.000000	536.270203
R2	1.000000	606.471008
R3	0.000000	857.941528
M1	1.000000	547.992004
M2	0.000000	599.325012
M3	0.000000	321.876007
V1	0.000000	748.221375
V2	0.000000	559.488525
V3	1.000000	635.447815
ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
2)	4.346802	0.000000
3)	545.653198	0.000000
4)	8.733601	0.000000
5)	62.266399	0.000000
6)	51.188602	0.000000
7)	26.811398	0.000000
8)	37.252499	0.000000
9)	0.000000	0.000000
10)	0.000000	0.000000
11)	0.000000	0.000000
12)	0.000000	0.000000

### Jelovnik 1

OBJECTIVE FUNCTION VALUE		
1)	2317.167	
VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
D1	1.000000	527.255554
D2	0.000000	514.435974
D3	0.000000	555.990479
R1	0.000000	536.270203
R2	1.000000	606.471008
R3	0.000000	857.941528
M1	1.000000	547.992004
M2	0.000000	599.325012
M3	0.000000	321.876007
V1	0.000000	748.221375
V2	0.000000	559.488525
V3	1.000000	635.447815
ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
2)	17.166382	0.000000
3)	532.833618	0.000000
4)	13.730324	0.000000
5)	57.269676	0.000000
6)	37.389328	0.000000
7)	40.610672	0.000000
8)	31.490971	0.000000
9)	0.000000	0.000000
10)	0.000000	0.000000
11)	0.000000	0.000000
12)	0.000000	0.000000
13)	0.000000	0.000000



## Jelovnik 2

OBJECTIVE FUNCTION VALUE		
1)	2321.275	
VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
D1	0.000000	527.255554
D2	0.000000	514.435974
D3	1.000000	555.990479
R1	0.000000	536.270203
R2	1.000000	606.471008
R3	0.000000	857.941528
M1	0.000000	547.992004
M2	1.000000	599.325012
M3	0.000000	321.876007
V1	0.000000	748.221375
V2	1.000000	559.488525
V3	0.000000	635.447815
ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
2)	21.275024	0.000000
3)	528.724976	0.000000
4)	18.781048	0.000000
5)	52.218952	0.000000
6)	33.589100	0.000000
7)	44.410900	0.000000
8)	38.027695	0.000000
9)	0.000000	0.000000
10)	0.000000	0.000000
11)	0.000000	0.000000
12)	0.000000	0.000000
13)	0.000000	0.000000
14)	0.000000	0.000000
15)	0.000000	0.000000

## Jelovnik 3

OBJECTIVE FUNCTION VALUE		
1)	2411.072	
VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
D1	1.000000	527.255554
D2	0.000000	514.435974
D3	0.000000	555.990479
R1	1.000000	536.270203
R2	0.000000	606.471008
R3	0.000000	857.941528
M1	0.000000	547.992004
M2	1.000000	599.325012
M3	0.000000	321.876007
V1	1.000000	748.221375
V2	0.000000	559.488525
V3	0.000000	635.447815
ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
2)	111.072144	0.000000
3)	438.927856	0.000000
4)	9.308123	0.000000
5)	61.691879	0.000000
6)	61.072327	0.000000
7)	16.927673	0.000000
8)	21.747576	0.000000
9)	0.000000	0.000000
10)	0.000000	0.000000
11)	0.000000	0.000000
12)	0.000000	0.000000
13)	0.000000	0.000000
14)	0.000000	0.000000
15)	0.000000	0.000000
16)	0.000000	0.000000

## Jelovnik 4

OBJECTIVE FUNCTION VALUE		
1)	2455.294	
VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
D1	1.000000	527.255554
D2	0.000000	514.435974
D3	0.000000	555.990479
R1	0.000000	536.270203
R2	0.000000	606.471008
R3	1.000000	857.941528
M1	0.000000	547.992004
M2	0.000000	599.325012
M3	1.000000	321.876007
V1	1.000000	748.221375
V2	0.000000	559.488525
V3	0.000000	635.447815
ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
2)	155.294464	0.000000
3)	394.705536	0.000000
4)	31.728855	0.000000
5)	39.271145	0.000000
6)	39.045727	0.000000
7)	38.954273	0.000000
8)	39.112041	0.000000
9)	0.000000	0.000000
10)	0.000000	0.000000
11)	0.000000	0.000000
12)	0.000000	0.000000
13)	0.000000	0.000000
14)	0.000000	0.000000
15)	0.000000	0.000000
16)	0.000000	0.000000

## Jelovnik 5

OBJECTIVE FUNCTION VALUE		
1)	2479.858	
VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
D1	0.000000	527.255554
D2	1.000000	514.435974
D3	0.000000	555.990479
R1	0.000000	536.270203
R2	0.000000	606.471008
R3	1.000000	857.941528
M1	1.000000	547.992004
M2	0.000000	599.325012
M3	0.000000	321.876007
V1	0.000000	748.221375
V2	1.000000	559.488525
V3	0.000000	635.447815
ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
2)	179.858032	0.000000
3)	370.141968	0.000000
4)	36.013283	0.000000
5)	34.986717	0.000000
6)	43.408501	0.000000
7)	34.591499	0.000000
8)	46.973866	0.000000
9)	0.000000	0.000000
10)	0.000000	0.000000
11)	0.000000	0.000000
12)	0.000000	0.000000
13)	0.000000	0.000000
14)	0.000000	0.000000
15)	0.000000	0.000000

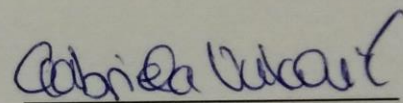
## Jelovnik 6

OBJECTIVE FUNCTION VALUE		
1)	2329.701	
VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
D1	0.000000	527.255554
D2	1.000000	514.435974
D3	0.000000	555.990479
R1	0.000000	536.270203
R2	0.000000	606.471008
R3	1.000000	857.941528
M1	0.000000	547.992004
M2	0.000000	599.325012
M3	1.000000	321.876007
V1	0.000000	748.221375
V2	0.000000	559.488525
V3	1.000000	635.447815
ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
2)	29.701324	0.000000
3)	520.298706	0.000000
4)	11.797333	0.000000
5)	59.202667	0.000000
6)	46.089500	0.000000
7)	31.910500	0.000000
8)	32.708168	0.000000
9)	0.000000	0.000000
10)	0.000000	0.000000
11)	0.000000	0.000000
12)	0.000000	0.000000
13)	0.000000	0.000000
14)	0.000000	0.000000
15)	0.000000	0.000000

## Jelovnik 7

## Izjava o izvornosti

*Izjavljujem da je ovaj završni rad izvorni rezultat mojeg rada te da se u njegovoj izradi nisam koristio drugim izvorima, osim onih koji su u njemu navedeni.*

A handwritten signature in blue ink, reading "Gabriela Vuković", written over a horizontal line.

Gabriela Vuković